

BEST AVAILABLE COPY

PATENTAMT.

AUSGEGEBEN DEN 22. JANUAR 1900.

PATENTSCHRIFT

— № 108181 —

KLASSE 42 INSTRUMENTE. 3

L. SCHUPMANN IN AACHEN.

Optische Vorrichtung zur Achromatisirung eines nicht achromatischen Objectivs.

Patentirt im Deutschen Reiche vom 22. Oktober 1898 ab.

Gegenstand vorliegender Erfindung bildet eine optische Correctionsvorrichtung, welche dazu dient, die Fehler uncorrectirter dioptrischer Objectivs, nämlich Farben- bzw. Kugelabweichung, in besserer Weise, wie bislang möglich, aufzuheben. Die Correctionsvorrichtung besteht in einer Hohlspiegelfläche, vor welcher sich eine oder mehrere Concavlinen befinden. Die Concavlinen haben die Aufgabe, die positive Farbenzerstreuung des Objectivs aufzuheben, während die Hohlspiegelfläche den für vorliegende Erfindung wesentlichen Zweck erfüllt, die durch die Concavlinen bewirkte Divergenz der Strahlen aufzuheben.

Die Correctionsvorrichtung kann in Fernrohren und in Mikroskopen zur Anwendung kommen.

Dafs diese Correctionsvorrichtung Vortheile besitzt, welche die Herstellung der optischen Instrumente, besonders aber der grossen Teleskope erleichtern, haben mathematische Untersuchungen des Erfinders, sowie seine langjährigen praktischen Versuche gezeigt. Ein Fernrohr von 12 cm Objectivöffnung, 1,4 cm Spiegelöffnung und 1,30 m Brennweite ist schon ausgeführt und hat sich gut bewährt.

In der beiliegenden Zeichnung sind:

Die Fig. 1, 2, 3 und 4 Schnitte der Correctionsvorrichtung. Die Hohlspiegelfläche ist durch eine Doppellinie kenntlich gemacht. Fig. 1 und 2 stellen zwei verschiedene Anordnungen einer Concavlinse (I) vor der Hohl-

spiegelfläche dar, Fig. 3 und 4 zeigen zwei verschiedene Anordnungen von zwei Concavlinen (I und II) vor der Hohlspiegelfläche. In den anderen Figuren bezeichnet A das Objectiv, C die Correctionsvorrichtung und D das Ocular.

Fig. 6 veranschaulicht eine sehr wirkungsvolle Anordnung eines vollständigen Fernrohrsystems, welches unter Benutzung der vorliegenden neuen Correctionsvorrichtung achromatisirt ist.

Fig. 7 ist eine schematische Zeichnung, welche zeigt, wie beim Fernrohrsystem der Fig. 6 das secundäre Spectrum aufgehoben wird.

Fig. 5 bringt ein anderes Fernrohrsystem zur Anschauung, bei welchem die neue Correctionsvorrichtung so angeordnet ist, dafs der Tubus des Instruments gekürzt wird.

Fig. 8 zeigt, wie die neue Correctionsvorrichtung auch für Mikroskope angewendet werden kann.

Ueber die verschiedenen, in den Fig. 1 bis 4 dargestellten Anordnungen der Correctionsvorrichtung ist zunächst Folgendes zu bemerken:

In Fig. 1 und 3 ist die Silberbelegung direct auf der Hinterseite einer Concavlinse angebracht, während in Fig. 2 und 4 der Hohlspiegel für sich ein Stück bildet. Die Anordnung der Fig. 1 und 3 hat den Vortheil, dafs die Spiegelfläche gut vor Oxydation geschützt ist, während die zweite Anordnung Fig. 2 und 4 die Spiegelfläche vor dem Verbiegen schützt, da das Stück, auf welchem sie angebracht ist,

7

Lager

Film

sehr dick angeordnet werden kann. Diese letztere Art (Fig. 2 und 4), die Erfindung auszuführen, eignet sich deshalb besonders für große Spiegel.

Die beiden Glasarten, welche gewöhnlich für größere zweilinsige Objective zur Verwendung kommen, haben solche Zerstreuungsverhältnisse, daß für die reciproke Brennweite der Crown Glaslinse sich ungefähr der Werth $+2,7$ ergibt, wenn mit $+1$ die reciproke Brennweite des ganzen Objectivs bezeichnet wird. Die Flintglaslinse bekommt demgemäß eine reciproke Brennweite von $-1,7$.

Der Achromatismus des Objectivs wird dadurch erreicht, daß die Zerstreuungen der beiden Linsen gleich und entgegengesetzt sind; die Zerstreuung, welche die Crown Glaslinse von der Kraft (d. h. von der reciproken Brennweite) $-2,7$ hervorruft, wird aufgehoben durch die Zerstreuung der Flintglaslinse von der Kraft $-1,7$.

Es sind also $2,7$ Schritte vorwärts gemacht (in Convergenz), $1,7$ Schritte rückwärts (in Divergenz), um einen Schritt vorwärts zu erreichen. Der zur Erreichung dieses einen Schrittes gemachte Umweg ist also bedeutend, nämlich $2 \cdot 1,7 = 3,4$ Schritte.

Wir denken uns nun die Crown Glaslinse in zwei Linsen getheilt. Die eine derselben von der Kraft $+1$ wird allein als Objectiv in der früheren Stellung zurückgelassen, die andere von der Kraft $+1,7$ wird zusammen mit der Flintglaslinse von der Kraft $-1,7$ allmählig dem Focus des Systems genähert. Allerdings wird die gleiche, aber entgegengesetzte Kraft dieser beiden Zwischenlinsen nach dieser Entfernung vom Objective größer werden müssen, um noch immer ein achromatisches System zu liefern. Aus den hier anzuwendenden optischen Gleichungen geht jedoch hervor, daß, wenn man diese nunmehr nöthigen Kräfte der Zwischenlinsen mit dem Quotienten:

Durchmesser des Strahlenkegels bei den Zwischenlinsen

Durchmesser des Strahlenkegels am Objective

multipliziert, die so erhaltene Kräftezahl immer denselben Werth von $\pm 1,7$ behält, wie auch immer der Abstand der Zwischenlinsen vom Objective gewählt wird — natürlich unter der Voraussetzung, daß dieselben Glasarten beibehalten werden. Diese so erhaltenen Kräftezahlen sind die optisch maßgebenden, weil sie den Werth der Brechungen in Bezug auf das Brennpunktsbild darstellen, und diese Werthe wollen wir in Folgendem kurzweg »Kräfte« nennen.

Wir haben auf solche Weise ein dialytisches Fernrohr erhalten, und zwar eines von dem Typus, welcher zuerst von Rogers angegeben wurde. Die maßgebenden Werthe sind also beim dialytischen Rohre ganz die gleichen, der gemachte Umweg ist ganz derselbe wie beim zweilinsigen Objective, das Princip der Achromatisierung ist dasselbe, und die Vortheile der dialytischen Fernrohre müssen, wenn überhaupt solche vorhanden sind, in anderen Umständen gesucht werden wie im Principe der Achromatisierung.

Um es noch einmal anzuführen, haben wir nach der Verschiebung der zwei Linsen die Verhältnisse so, daß die Flintglaslinse von der Kraft $-1,7$ die Zerstreuung der beiden Crown Glaslinsen von der Kraft $+1,0$ und $+1,7$ (gleichwerthig einer Crown Glaslinse von der Kraft $+2,7$) aufhebt; die Crown Glaslinse von der Kraft $+1,7$ hebt die Divergenz der Flintglaslinse von der Kraft $-1,7$ auf, die Strahlen gehen also im großen Ganzen ungebrochen durch die zweifache Linsencombination, welche zwischen Objectiv und Focus aufgestellt ist.

Dieselben Glasarten vorausgesetzt, können wir nun weiter die zwei Zwischenlinsen durch eine einzige Flintglaslinse von der Kraft $-1 \cdot \frac{1,7}{2,7} = -0,63$ ersetzen und erhalten so

ein achromatisches System, da diese eine Flintglaslinse nach Obigem die ganze Zerstreuung des Objectivs von der Kraft $+1$ aufhebt; dieses System hat aber den Uebelstand, daß die Divergenz der Flintglaslinse den Durchmesser des Strahlenkegels in der Focalebene des Objectivs um $0,63$ Objectivdurchmesser aus einander breitet. Die Strahlen werden sich also unter Umständen gar nicht vereinigen, unter Umständen sehr weit vom Objective entfernt, je nachdem wir die Entfernung der Flintglaslinse vom Objective wählen.

Dieser Verlust an Convergenz kann dadurch beseitigt werden, daß unmittelbar hinter der Flintglaslinse ein Hohlspiegel aufgestellt wird (Fig. 5), so daß die Strahlen zuerst die Flintglaslinse durchdringen, dann, vom Hohlspiegel zurückgeworfen, die Flintglaslinse zum zweiten Male passiren und in einem Punkte sich vereinigen, welcher vor dem Spiegel gelegen ist. Damit das System nach dieser Umänderung noch achromatisch bleibe, darf die Kraft der Flintglaslinse aber nur $-\frac{0,63}{2} = -0,315$ be-

tragen, weil sie vom Lichte zweimal durchsetzt wird. Die Kraft des Hohlspiegels können wir beliebig annehmen, ohne den Achromatismus zu stören, weil die Spiegelung bekanntlich keine Farbenabweichung erzeugt. Um jedoch

die oben angenommene Brennweite des Systems von $+1$ beizubehalten und um so den Vergleich mit obigen dioptrischen Systemen zu ermöglichen, wollen wir ihm die Kraft $+0,63$ gehen, so daß ähnlich wie früher die Zwischencombination wie ein Planspiegel wirkt.

Wir haben also jetzt die Verhältnisse wie folgt:

Die vom Lichte doppelt durchsetzte Flintglaslinse von der Kraft $-0,315$ (gleichwerthig einer einfach durchsetzten Flintglaslinse von der Kraft $-0,63$) hebt die Dispersion des Objectivs von der Kraft $+1,0$ auf; die Convergenz des Hohlspiegels von der Kraft $+0,63$ hebt die Divergenz der Flintglaslinse von der Kraft $-2 \cdot 0,315 = -0,63$ auf. Die zurückgelegten Wege betragen demnach $+1 - 0,63 + 0,63$, der erste Summand für die Flintglaslinse und der dritte für den Spiegel.

Der gemachte Umweg ist durch diese Veränderung von $2 \cdot 1,7$ auf $2 \cdot 0,63$ vermindert worden; er beträgt also nur den $\frac{1,7}{0,63} = 2,7^{\text{ten}}$

Theil von dem Umwege, welcher beim zweilinsigen Objective und beim dialytischen Fernrohr gemacht wird. Die absolute Summe der an den Glasflächen erzeugten Brechungen, die uns hier besonders interessiren, verhalten sich zu derselben GröÙe beim zweilinsigen Objective wie $\frac{1,0 + 0,63}{2,7 + 1,7} = \frac{1}{2,7}$, auch diese sind also auf den $2,7^{\text{ten}}$ Theil reducirt.

Der Erfolg ist jedoch derselbe geblieben wie bei dem zweilinsigen Objective, von welchem wir ausgingen, nämlich ein achromatisches convergentes System von gleicher Brennweite und von gleicher Oeffnung.

Zur Sichtbarmachung des Bildes ist natürlich noch ein Prisma oder ein Spiegel erforderlich. Ueberhaupt können hier alle die Einrichtungen angewendet werden, welche bei Spiegelteleskopen üblich sind.

Ueber die Eigenschaften dieser Systeme kommt man nun zu folgenden Ergebnissen:

1. Sie bewirken die Achromatisirung einer Objectivlinse auf dem optisch directesten Wege, welcher mit den jetzt zu Gebote stehenden Mitteln überhaupt möglich ist.

2. Objectiv und Spiegellinse können aus derselben Glasart gefertigt werden, ohne daß die Möglichkeit der Achromatisirung aufhört. Derartige Systeme hätten also zur Noth schon construirt werden können, bevor man die verschiedene Dispersion der Glasarten kannte.

3. Sofern wir dieselbe Art von Crown- und Flintglas wie oben beibehalten, wird (von später zu besprechenden Einschränkungen abgesehen) das secundäre Spectrum auf den $2,7^{\text{ten}}$ Theil des beim zweilinsigen Objective auf-

tretenden vermindert sein, denn anstatt eine Crown Glaslinse von der Kraft $2,7$ durch eine Flintglaslinse von der Kraft $-1,7$ zu achromatisiren, wird eine Crown Glaslinse von der Kraft 1 durch eine Flintglaslinse von der Kraft $-0,63$ achromatisirt, ohne daß die Brennweite des Gesamtsystems vergrößert wird. Bei Anwendung leichteren Flintglases für die Spiegellinse wird dieser Bruchtheil noch mehr vermindert, ganz im Gegensatze zum zweilinsigen Objective, wo im allgemeinen die Anwendung leichteren Flintglases das secundäre Spectrum nicht verkleinert.

4. Die Wahrscheinlichkeit für Combinationen, welche die Kugelgestaltfehler vollständig unschädlich machen, ebenso wie die damit zusammenhängenden sphärischen Farbenfehler, wird hier eine größere sein wie beim zweilinsigen Objective, weil hier die Kräfte der Linsen weit geringere sind und Spiegelflächen, gleiche Brechungen vorausgesetzt, weit geringere Kugelabweichungen wie Linsen erzeugen.

5. Bei diesen Systemen können die Nachtheile, welche sonst den durch Objectspiegel erzeugten Bildern anhaften, so vermindert werden, daß sie nicht mehr in Frage kommen. Der schädliche Einfluß der Schwereverbiegungen kann leicht auf den dreißigsten Theil der bei Spiegelteleskopen auftretenden dadurch verringert werden, daß man die Zwischenspiegel möglichst klein anordnet; die Fehler, welche durch ungenauen Schliff dieser Zwischenspiegel entstehen, sind dann nicht größer wie die bei Refractoren durch ungenauen Schliff der Linsenflächen auftretenden. Auch die leichte Oxydirbarkeit der Spiegelfläche wird durch die Flintglasdecklinse sehr vermindert, da diese so gekrümmt ist, daß sie am Umfange unmittelbar auf der Spiegelfläche liegt und so letztere von der umgebenden Luft abschließt.

Der oben aus einander gesetzte große Vortheil des vorliegenden neuen Systems gegenüber der rein dioptrischen Farbencorrection, nämlich die Reduction der Brechungen ohne Vergrößerung der Systembrennweite, schwindet aber vollständig, wenn statt des Hohlspiegels ein Planspiegel oder gar ein Convexspiegel mit der Concavlinse verbunden wird. Wir betrachten den in dieser Beziehung günstigsten Fall, daß die Correctionsvorrichtung, welche wir uns nun mit einem Planspiegel an Stelle des Hohlspiegels versehen denken, sehr nahe dem Objective aufgestellt ist. Unter Zugrundelegung obiger errechneter Linsenkräfte und unter Beibehaltung obiger Glassorten wird jetzt das achromatische System gebildet durch das Objectiv von der Kraft $+1$, durch die zweimal durchsetzte Concavlinse von der Kraft $-2 \cdot 0,315$ und durch den Planspiegel von der Kraft ± 0 . Die reciproke Brennweite dieses Systems wird

betragen, wenn die im Vergleich zur Brennweite geringen Abstände der Bestandtheile vernachlässigt werden:

$$+1 - 2 \cdot 0,315 \pm 0 = +0,37,$$

und die Brennweite selbst $\frac{1}{+0,37} = +2,7$.

Die Brennweite des Systems und damit auch die Tubuslänge, welche nach Zurückwerfung der Strahlen von dem unter 45° gestellten kleinen Planspiegel der Fig. 5 sich jetzt nach der rechten Seite dieser Figur in nahezu voller Länge erstreckt, wird also auf das Dreifache vergrößert sein. Wollen wir nun wie früher die im Systeme stattfindenden Brechungen durch seine reciproke Brennweite als Einheit ausdrücken, um so den Vergleich mit den früheren Systemen zu ermöglichen, so haben wir die Brechungszahlen durch $+0,37$ zu dividiren und bekommen so

$$\frac{+1}{+0,37} - \frac{2 \cdot 0,315}{+0,37} = 2,7 - 1,7.$$

Es sind das dieselben Werthe, welche wir beim zweilinsigen Objective gefunden hatten. Durch Anwendung der Planspiegelfläche in der Correctionsvorrichtung an Stelle der Hohlspiegelfläche wird also kein optischer Vortheil gegenüber der rein dioptrischen Achromatisirung gewonnen. Entfernen wir jetzt die Correctionsvorrichtung von Objecte, so wächst die Brennweite noch vielmehr und sehr bald tritt eine Stellung ein, bei welcher die Strahlen sich überhaupt nicht mehr vereinigen. Aus Vorstehendem ist ersichtlich, daß eine Correctionsvorrichtung, welche einen Convexspiegel benutzt, gegenüber der rein dioptrischen Correction mit Nachtheilen behaftet ist.

Die Vortheile vorliegender Erfindung für die Farbencorrection dioptrischer Objective sind also an die Hohlspiegelfläche gebunden, und Correctionsvorrichtungen, welche einen Convexspiegel anwenden, wie z. B. die Vorrichtung v. d. Gröbens (Centralzeitung für Optik und Mechanik 1885, S. 147 ff.) zeigen nicht das die vorliegende Erfindung kennzeichnende vortheilhafte Princip, nämlich die Rückgängigmachung der durch die Concavlinse bewirkten Divergenz durch einen Hohlspiegel.

Wir gehen nun in der Umänderung unseres Systems (Fig. 5) noch einen Schritt weiter; wir entfernen die Compensation, das heißt den Hohlspiegel mit der aufgelagerten Concavlinse, noch mehr vom Objective, so daß sie zuerst dessen Brennpunkt erreicht und dann über diesen hinweggeführt wird; wir stellen sie (Fig. 6) in einem Punkte auf, wo der Strahlenkegel sich schon wieder ziemlich erweitert hat.

Die Krümmung des Hohlspiegels wählen wir dann am zweckmäßigsten so, daß die Strahlen annähernd in demselben Punkte, nur etwas seitwärts der Achse verschoben, sich wieder sammeln, von dem sie ausgingen. Auch nach dieser letzten Umänderung bleibt die zur Achromatisirung nöthige Kraft der Concavlinse, wie wir sie oben kennen lernten, nämlich $-0,315$. Bringen wir mehrere Concavlinsen vor den Spiegel an, so muß selbstredend ihre Kraftsumme $-0,315$ betragen. Die Vortheile dieses Systems gegenüber dem zweilinsigen Objective sind also in Bezug auf die Achromatisirung ganz die nämlichen wie bei der Construction nach Fig. 5 und demgemäß auch die sich daran knüpfenden Folgerungen.

Diese Spiegelachromaten haben also mit den Spiegelteleskopen das gemeinsam, daß die Eigenschaft der Hohlspiegel, Convergenz ohne Farbenabweichung zu bewirken, bei ihnen zur Vereinfachung des Strahlenganges benutzt wird. Von den Refractoren entlehnen sie die Eigenschaften einer Objectivlinse, Bilder zu liefern, welche durch die Schweredurchbiegungen und durch ungenauen Schliff viel weniger fehlerhaft ausfallen wie bei einem Objectivspiegel. Sie stehen also gewissermaßen in der Mitte zwischen den Refractoren und Reflectoren.

Das secundäre Spectrum wird jener übrigbleibende Rest von Farbenabweichung genannt, welcher sich für die violetten, blauen und rothen Strahlen ergibt, wenn die im gelben Theile des Spectrums liegenden vereinigt sind; es entsteht dadurch, daß gewöhnliches Flintglas die blauen Strahlen zu viel, die rothen zu wenig im Verhältnisse zum Crown glase bricht. *A priori* wird bei Anwendung der vorliegenden neuen Correctionsvorrichtung das secundäre Spectrum ungefähr auf den dritten Theil des bei großen zweilinsigen Objectiven gewöhnlich auftretenden reducirt sein und dieser Rest wird wie folgt aufgehoben.

Wir betrachten zuerst den Strahlengang bei Fig. 5. Die von einem Randpunkte des Objectivs ausgehenden blauen, gelben und rothen Strahlen werden infolge der Farbenzerstreuung des Objectivs dasselbe divergent verlassen, so daß die blauen Strahlen die Compensation im geringsten Abstände vom Mittelpunkt treffen, die rothen im größten. Die Folge davon wird sein, daß die blauen Strahlen verhältnißmäßig am wenigsten durch den nach dem Rande zunehmenden Prismenwinkel der Flintglaslinse gebrochen werden, die rothen am meisten, und gerade das soll erreicht werden. Dieser Unterschied der Auffallshöhen, der in obiger Schlussfolgerung über die Größe des übrig bleibenden secundären Spectrums nicht berücksichtigt wurde, ist groß genug, um das secundäre Spectrum vollständig aufzuheben (das heißt in

ein äußerst kleines tertiäres zu verwandeln), wenn die Compensation so zwischen Objectiv und dessen Brennpunkt aufgestellt wird, daß ihr Durchmesser etwa ein Drittel des Objectivdurchmessers beträgt.

Wenn die Compensation jenseits des Brennpunktes aufgestellt ist, werden diese Verhältnisse umgekehrt. Die von einem Randpunkte des Objectivs ausgehenden Strahlen werden nun über den Brennpunkt hinaus verlängert die Compensation so treffen, daß die blauen Strahlen die größte Einfallshöhe, die rothen die geringste haben. Es geht unser Vortheil in Bezug auf die Verminderung des secundären Spectrums theilweise verloren. Derselbe wird aber dadurch wieder ganz gewonnen, daß im Focus des Objectivs eine Convexlinse aufgestellt wird, oder ein Prisma mit einer convexen Kathetenfläche, an dessen Hypotenusenfläche das Licht total reflectirt wird, um es dem Auge nachher bequem zuführen zu können. Diese Anordnung ist in Fig. 8 dargestellt. Wenn wir dem Prisma eine solche Brennweite f geben, daß Compensation und Objectiv in conjugirten Punkten stehen, daß also ist:

$$\frac{1}{AB} + \frac{1}{BC} = \frac{1}{f},$$

so werden alle von einem Punkte des Objectivs ausgehenden verschiedenfarbigen Strahlen das Prisma in verschiedenen Punkten treffen, auf der Compensationsvorrichtung aber wieder mit großer Annäherung in einem Punkte vereinigt werden und so in gleicher Einfallshöhe die Compensation durchsetzen. Der Nachtheil in Bezug auf das secundäre Spectrum ist also aufgehoben. Wird nun dieselbe Glasart für Objectiv und Compensation verwendet, so wird das secundäre Spectrum absolut gleich Null.

Verkürzen wir nun die Brennweite des Prismas, so gestaltet sich der Strahlengang, wie in der Fig. 7 schematisch dargestellt ist. Die blauen Strahlen sind hier mit b , die rothen mit r bezeichnet. Die verschiedenfarbigen, von einem Randpunkte des Objectivs ausgehenden Strahlen werden durch diese Verkürzung der Prismabrennweite zwischen Prisma und Compensation zur Kreuzung gebracht. Es trifft nun der blaue Strahl die Compensation näher der Achse wie der rothe, und jetzt können wir gerade wie bei Fig. 5 Flintglas für die Compensation verwenden, ohne secundäres Spectrum hervorzurufen. Hier haben wir ein Mittel, durch Verkürzung der Brennweite des Prismas diesen Unterschied der Auffallshöhen beliebig zu steigern und so nach Gefallen das secundäre Spectrum zu verringern, aufzuheben oder sogar in ein negatives zu verwandeln.

Es giebt verschiedene Anordnungen, welche vermittelst eines durchbohrten Spiegels, in der

Mitte zwischen Objectivbrennpunkt und Compensation aufgestellt, einer einfachen Convexlinse, eines Planspiegels mit einer Convexlinse, eines doppelt total reflectirenden Prismas, eines belegten Prismas, in der Nähe des Objectivbrennpunktes aufgestellt, die obige Anordnung des convexen, einfach total reflectirenden Prismas variiren, immer aber muß nahe dem Brennpunkte des Objectivs ein System von positiver Brennweite vorhanden sein, wenn nun der Rest des secundären Spectrums aufgehoben werden soll. Es dürfte aber wohl die Anordnung der Fig. 6 für Ocularbeobachtungen allen anderen Formen vorzuziehen sein.

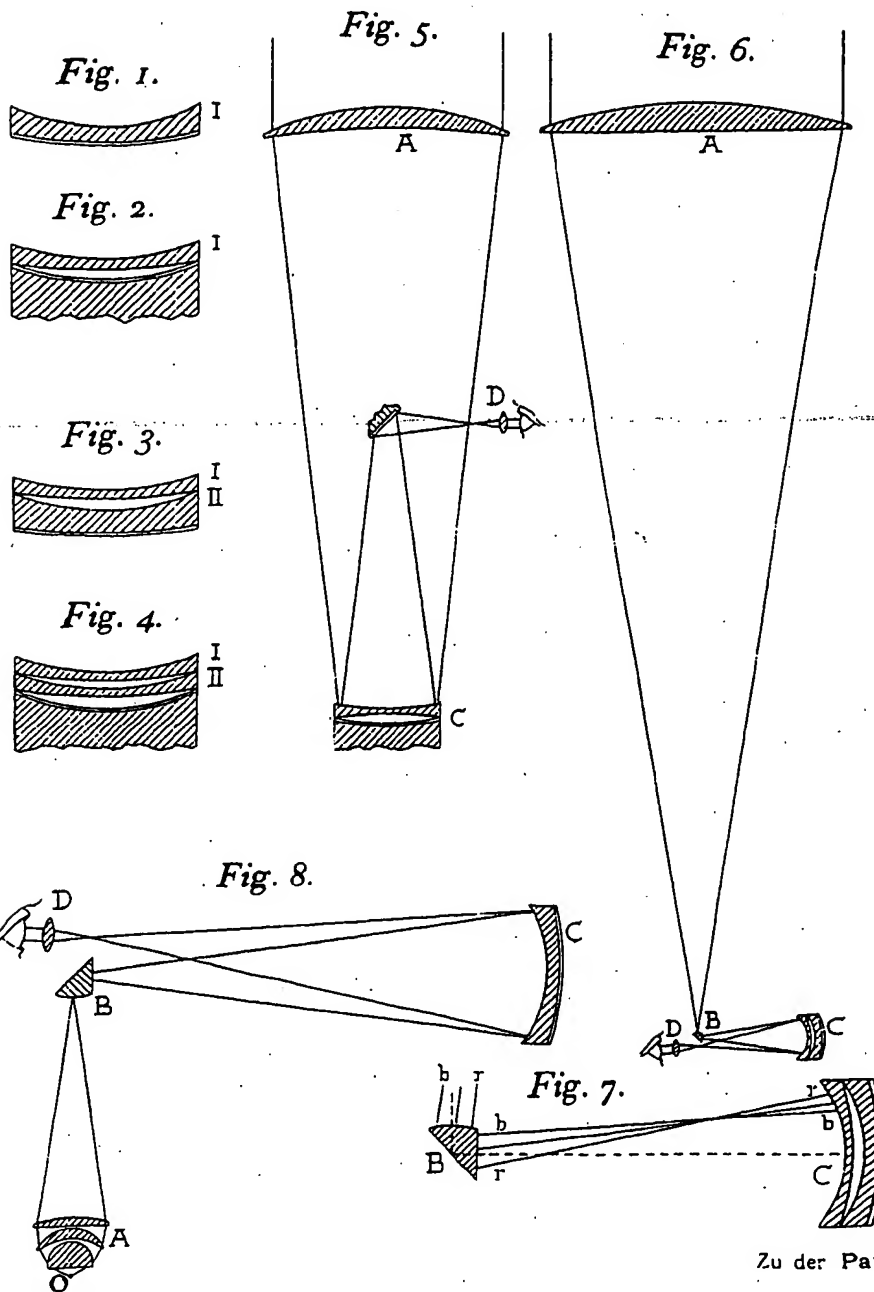
Das Ocular befindet sich unmittelbar neben dem Prisma. Die dadurch bedingte Schrägstellung des Spiegels verursacht kleine Bildfehler, welche durch eine minimale Neigung des Objectivs aufgehoben werden. Diese Schrägstellung nimmt mit der Größe des Instruments stetig ab. Der symmetrische Strahlengang in der Compensation hat zur Folge, daß man ihren Durchmesser sehr klein machen kann, ohne daß die entstehenden Abweichungen zu groß werden.

Ein Objectiv von gewöhnlichem Crownlase, welches der Sinusbedingung genügt, welches also nahezu die Minimalkugelabweichung hervorruft, wird in Bezug auf Farbe und Abweichung vollständig durch eine Compensation corrigirt, deren Durchmesser ein Achtel bis ein Zwölftel des Objectivdurchmessers beträgt, je nachdem sehr leichtes oder gewöhnliches Silicafint für die zwei der Spiegelfläche vorgelagerten Linsen verwendet wird. Hierbei ist die Anordnung so gedacht, wie in Fig. 7 dargestellt, daß die Spiegelbelegung auf der Hinterseite der zweiten Flintglaslinse angebracht ist.

Die ganze Compensationseinrichtung ist also gewissermaßen zu einem bildumkehrenden Ocular zusammengeschrunpft.

Eine Begleiterscheinung scheint auf den ersten Blick die Anwendung der vorliegenden neuen Correctionsvorrichtung auszuschließen, nämlich die Spiegelbilder, welche von den Glasflächen der Concavlinsen zum Auge gelangen. Es er giebt sich aber, daß diese Spiegelbilder bei dem System Fig. 6 ganz zum Verschwinden gebracht werden können, und daß sie beim System Fig. 5 das Focusbild nur unwesentlich beeinträchtigen.

Die vorliegende Correctionsvorrichtung läßt sich auch bei Mikroskopen anwenden. Das Mikroskopsystem bekommt dann die Anordnung, welche in Fig. 8 schematisch dargestellt ist. Bei O befindet sich das Object. Nachdem die Strahlen das in Bezug auf Farbe uncorrigirte Objectiv A passiert haben, gelangen sie zum Prisma B und dann zur Compensation C . Bei Mikroskopsystemen liegt die Möglichkeit



Zu der Patentschrift

N^o 108181.

vor, ohne Schaden für die Bildgenauigkeit die Compensation im Durchmesser größer anzuordnen wie die Objectivöffnung, das heißt die Entfernung $B-C$ größer zu machen wie die Entfernung $A-B$.

PATENT-ANSPRUCH:

Eine optische Vorrichtung zur Achromatisierung eines nicht achromatischen Objectivs, bestehend in einem Hohlspiegel, vor welchem

Linsenbegrenzungsflächen so angeordnet und so geformt sind, daß erstens die Linsenbegrenzungsflächen ein dioptrisches System mit negativer Brennweite und mit negativer Farbenzerstreuung bilden, welches vom Lichte zweimal, vor und nach der Zurückwerfung durch den Hohlspiegel, durchsetzt wird, und daß zweitens die von diesem dioptrischen Systeme erzeugte Divergenz der Strahlen vom Hohlspiegel rückgängig gemacht wird.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen.

IMPERIAL PATENT OFFICE

Published on the 22nd January 1900

PATENT SPECIFICATION

– No. 108181 –

Class 42 – Instruments

L. Schupmann of Aachen

“Optical device for achromatizing a non-achromatic objective lens”

Patented in the German Reich as from the 22nd October 1898.

The present invention relates to an optical correction device which is used to eliminate the errors of uncorrected dioptric objective lenses, namely spherical or chromatic aberrations, in a better manner than has been possible hitherto. The correction device comprises a concave mirror face, in front of which one or more concave lenses are situated. The purpose of the concave lenses is to eliminate the positive colour dispersion of the objective lens, whereas the concave mirror face performs the task – essential to the present invention – of eliminating the divergence of the rays caused by the concave lenses.

The correction device can be used in telescopes and in microscopes.

The fact that this correction device has advantages which facilitate the production of the optical instruments, and in particular even large telescopes, has been demonstrated by mathematical researches on the part of the inventor as well as his practical experiments over many years. A telescope with an objective-lens aperture of 12 cm, a mirror aperture of 1.0 cm and a focal length of 1.50 cm has already been produced and has proved successful.

In the accompanying drawing:

Figs. 1, 2, 3 and 4 are sections through the correction device. The concave mirror face is indicated by a double line. Figs. 1 and 2 illustrate two different arrangements of a concave lens (I) in front of the concave mirror face, and Figs. 3 and 4 show two different arrangements of two concave lenses (I and II) in front of the concave mirror face. In the other Figures, the objective lens is designated A, the correction device C and the eyepiece D.

Fig. 6 shows a highly effective arrangement of a complete telescope system which is achromatized with the use of the present novel correction device.

Fig. 7 is a diagrammatic illustration which shows how the secondary spectrum is eliminated in the telescope system as shown in Fig. 6.

Fig. 5 illustrates another telescope system, in which the novel correction device is arranged in such a way that the barrel of the instrument is shortened.

Fig. 8 shows how the novel correction device can also be used for microscopes.

Concerning the various arrangements of the correction device illustrated in Figs. 1 to 4, the following remarks should be made first of all:

In Figs. 1 and 3 the silver coating is applied directly to the rear side of a concave lens, whereas in Figs. 2 and 4 the concave mirror forms one piece in itself. The arrangement as shown in Figs. 1 and 3 has the advantage that the mirror face is well protected from oxidation, whereas the second arrangement as shown in Figs. 2 and 4 protects the mirror face from bending, since the piece on which it is mounted can be made very thick. This second manner (Figs. 2 and 4) of implementing the invention is therefore particularly suitable for large mirrors.

The two types of glass which are generally used for large two-component objective lenses have divergence ratios such that the figure $+2.7$ approximately occurs for the reciprocal focal length of the crown glass lens when the reciprocal focal length of the entire objective lens is designated as $+1$. The flint glass lens accordingly has a reciprocal focal length of -1.7 .

The achromatism of the objective lens is achieved as a result of the fact that the divergences of the two lenses are equal and opposite; the divergence which the crown glass lens of the power (*i.e.* of the reciprocal focal length) $+2.7$ produces is eliminated by the divergence of the flint glass lens of the power -1.7 .

In this way, 2.7 steps forwards are made (in convergence) and 1.7 steps backwards (in divergence) in order to achieve one step forwards. The diversion made in order to achieve this single step is thus significant, namely $2 \times 1.7 = 3.4$ steps.

We shall now imagine the crown glass lens to be divided into two lenses. One of them of the power $+1$ is left on its own as the objective lens in the original position, and the other of the power $+1.7$ is gradually moved together with the flint glass lens of the power -1.7

towards the focus of the system. After this movement away from the objective lens, however, the same but opposite power of the said two intermediate lenses will have to become larger in order to continue to provide an achromatic system. From the optical equations to be applied in this case it follows that, if the said powers of the intermediate lenses now required are multiplied by the quotient:

$$\frac{\text{diameter of the cone of rays in the case of the intermediate lenses}}{\text{diameter of the cone of rays at the objective lens}}$$

the figure of the power thus obtained always retains the same value of ± 1.7 , whatever distance of the intermediate lenses from the objective lens is selected, naturally under the assumption that the same types of glass are retained. These figures of the power obtained in this way are the optically decisive ones, since they represent the value of the refractions in relation to the focal image, and we suggest that these values be referred to as "powers" in brief below.

In this way, we have acquired a dialytic telescope, namely one of the type which was first disclosed by Rogers. The decisive figures in the case of the dialytic telescope are thus just the same, the diversion made is just the same in the case of the two-component objective lens, the principle of achromatization is the same, and the advantages of the dialytic telescopes must – if they are present at all – be sought in aspects other than in the principle of achromatization.

To state it once again, after the displacement of the two lenses we have the relationships such that the flint glass lens of the power -1.7 eliminates the divergence of the two crown glass lenses of the power $+1.0$ and $+1.7$ (equivalent to one crown glass lens of the power $+2.7$); the crown glass lens of the power $+1.7$ eliminates the divergence of the flint glass lens of the power -1.7 , and so the rays pass largely unrefracted through the dual-lens combination which is formed between the objective lens and the focus.

Assuming the same types of glass, we can now replace the two intermediate lenses with a single flint glass lens of the power $-1 \times \frac{1.7}{2.7} = -0.63$ and thus obtain an achromatic system, since in accordance with the above this single flint glass lens eliminates the entire divergence of the object lens of the power $+1$; this system has the drawback, however, that the divergence of the flint glass lens widens out the diameter of the cone of rays in the focal plane of the objective lens by 0.63 [times the ?] diameter of the objective lens. In this way, in certain cases the rays do not meet at all, and in certain cases they meet very far from the objective lens, depending upon what distance of the flint glass lens from the objective lens is chosen.

This loss of convergence can be overcome by a concave mirror being set up immediately behind the flint glass lens (Fig. 5), so that the rays first pass through the flint glass lens and

then, reflected by the concave mirror, pass through the flint glass lens for a second time and meet at a point which is situated in front of the mirror. In order that this system may still remain achromatic after this correction, however, the power of the flint glass lens should amount to only $-\frac{0.63}{2} = -0.315$ since it is traversed twice by the light. The power of the concave mirror can be assumed to be any figure, without the achromatism being affected since, as is known, the reflexion through mirrors does not produce any colour divergence. In order to retain the focal length of the system of $+1$ as assumed above and thus to allow a comparison with the above-mentioned dioptric systems, however, we shall give it the power $+0.63$, so that the intermediate combination acts like a plane mirror in a similar manner to before.

We now therefore have the relationships as follows:

The flint glass lens of the power -0.315 through which the light passes twice (equivalent to a flint glass lens of the power -0.63 traversed once) eliminates the dispersion of the objective lens of the power $+1.0$; the convergence of the concave mirror of the power $+0.63$ eliminates the divergence of the flint glass lens of the power $-2 \times 0.315 = -0.63$. The paths covered accordingly amount to $+1 - 0.63 + 0.63$, the first addend for the flint glass lens and the third for the mirror.

The diversion made has been reduced by this change from 2×1.7 to 2×0.63 ; it therefore amounts to only the $\frac{1.7}{0.63} = 2.7$ th part of the diversion which is made in the case of the two-component objective lens and in the case of the dialytic telescope. The absolute sum of the refractions which occur at the glass faces and which are of particular interest to us here behave at the same magnitude in the case of the two-component objective lens as $\frac{1.0+0.63}{2.7+1.7} = \frac{1}{2.7}$, and so these too are reduced to the 2.7th part.

The result remains the same, however, as in the case of the two-component objective lens from which we started, namely an achromatic convergent system of the same focal length and of the same aperture.

In order for the image to be made visible a further prism or mirror is of course necessary. As a whole, all the devices which are customary in the case of mirror telescopes can be used here.

Concerning the properties of these systems, the following findings are made:

1. They result in the achromatization of an objective lens on the optically most direct path which is altogether possible with the means at present available.

2. The objective lens and the mirror lens can be produced from the same type of glass, without losing the possibility of achromatization. Systems of this type could thus already have been constructed in case of need before the differing dispersion of the types of glass was known.
3. If we retain the same type of crown glass and flint glass as above, then (apart from limitations to be discussed below) the secondary spectrum will apparently be reduced to the 2.7th part of that in the case of the two-component objective lens, since instead of achromatizing a crown glass lens of the power -2.7 by a flint glass lens of the power -1.7 , a crown glass lens of the power 1 is achromatized by a flint glass lens of the power -1.63 without the focal length of the system as a whole being increased. When lighter flint glass is used for the mirror lens, this fraction is reduced still further, totally in contrast to the two-component objective lens, where the use of lighter flint glass does not reduce the secondary spectrum as a rule.
4. The probability for combinations which make the spherical aberrations completely innocuous, in the same way as the spherical colour aberrations associated therewith, will become greater here than in the case of the two-component objective lens, since here the powers of the lenses are far smaller and mirror faces, assuming the same refractions, result in far lower spherical aberrations than lenses.
5. In these systems the drawbacks which are otherwise associated with the images produced by object mirrors are reduced to such an extent that they are no longer significant. The adverse effect of gravitational distortions can easily be reduced to a 30th of those occurring in the case of mirror telescopes as a result of making the intermediate mirrors as small as possible; the errors which occur as a result of inaccurate grinding of the said intermediate mirrors are then no greater than those occurring in the case of refracting telescopes as a result of inaccurate grinding of the lens faces. In addition, the susceptibility of the mirror face to oxidation is considerably reduced by the cover lens of flint glass, since the latter is curved in such a way that on the periphery it rests directly on the mirror face and thus seals the latter off from the ambient air.

The great advantage of the present novel system as set out above in comparison with purely dioptric colour correction, namely the reduction of refractions without increasing the focal length of the system, is completely absent, however, if a plane mirror or even a convex mirror is joined to the concave lens instead of the concave mirror. In this respect we consider the most advantageous case to be when the correction device, which we now imagine as provided with a plane mirror in the place of the concave mirror, is arranged very close to the objective lens. Taking the lens powers calculated above as a basis and whilst retaining the

above-mentioned sorts of glass, the achromatic system is now formed by the objective lens of the power + 1, by the doubly traversed concave lens of the power $- 2 \times 0.315$ and by the plane mirror of the power ± 0 . If the small distances between the components as compared with the focal length are ignored, the reciprocal focal length of this system amounts to

$$+ 1 - 2 \times 0.315 \pm 0 = + 0.37,$$

and the focal length itself to $\frac{1}{+0.37} = + 2.7$. The focal length of the system and thus also the barrel length, which after reflexion of the rays by the small plane mirror as shown in Fig. 5 set at 45° now extends towards the right-hand side of the said Figure over almost its entire length, is thus increased to three times its size. If the refractions occurring in the system are now expressed as before by its reciprocal focal length so as thus to permit a comparison with the earlier systems, we have to divide the refraction figures by + 0.37 and thus obtain

$$\frac{+1}{+0.37} - \frac{2 \times 0.315}{+0.37} = 2.7 - 1.7.$$

They are the same figures which we have found in the case of the two-component objective lens. As a result of using the plane mirror face in the correction device instead of the concave mirror face, therefore, no optical advantage is achieved over the purely dioptric achromatization. If we now remove the correction device from objects, then the focal length will increase still further and very soon a setting will occur in which the rays no longer meet one another at all. It is evident from the above that a correction device which uses a convex mirror has drawbacks as compared with the purely dioptric correction.

The advantages of the present invention for the colour correction of dioptric objective lenses are thus linked to the concave mirror face, and correction devices which use a convex mirror, such as for example the device of v.d. Gröbens (*Centralzeitung für Optik und Mechanik* [Central Journal for Optics and Mechanics] 1885, p. 147 ff.), do not display the advantageous principle characterizing the present invention, namely the cancellation – by means of a concave mirror – of the divergence caused by the concave lens.

We now go one step further in the changing of our system (Fig. 5); we remove the compensation [device], i.e. the concave mirror with the concave lens mounted thereon, still further from the objective lens, so that it first reaches its focal point and then moves beyond it; we position it (Fig. 6) at a point where the cone of rays has already been quite enlarged again.

The curvature of the concave mirror is then selected in the most advantageous manner as as to be such that the rays meet again at approximately the same point – only displaced slightly to the side of the axis – from which they started. Even after this last change the power of the concave lens required for achromatization remains as we ascertained above,

namely -0.315 . If we arrange a plurality of concave lenses in front of the mirror, then the sum of their powers must of course amount to -0.315 . The advantages of this system over the two-component objective lens are thus, with respect to achromatization, precisely those as in the case of the design as shown in Fig. 5 and, accordingly, also the consequences following on from them.

These mirror achromats thus have in common with the mirror telescopes the fact that the property of the concave mirrors – namely effecting convergence without chromatic aberration – is utilized in them in order to simplify the path of the rays. They borrow from the refracting telescopes the properties of an objective lens, namely of providing images which turn out to be much less defective as a result of gravitational distortions and as a result of inaccurate grinding than in the case of an objective-lens mirror. They are therefore to a certain extent midway between the refracting telescopes and reflecting telescopes.

The secondary spectrum is the name of that remaining part of chromatic aberration which occurs for violet, blue and red rays when the ones in the yellow part of the spectrum are combined; as a result, conventional flint glass refracts the blue rays too much and the red rays too little as compared with crown glass. Reasoning *a priori*, when using the present novel correction device the secondary spectrum will be reduced to approximately a third of that usually occurring in the case of large two-component objective lenses and this remainder is eliminated as follows:

Let us first consider the path of the rays as shown in Fig. 5. The blue, yellow and red rays emerging from an edge point of the objective lens are left divergent as a result of the chromatic aberration of the objective lens in the same way, so that the blue rays encounter the compensation [device] at the shortest distance from the centre and the red rays at the greatest distance. The result of this will be that the blue rays are refracted to relatively the least extent by the prismatic angle of the flint glass lens which increases towards the edge, and the red ones are refracted the most, and it is just this which is to be achieved. This difference in the level of incidence, which was not taken into consideration in the above conclusion on the magnitude of the remaining secondary spectrum, is sufficiently large to eliminate the secondary spectrum completely (*i.e.* to turn it into an extremely small tertiary one) when the compensation [device] is positioned in such a way between the objective lens and the focal point of the latter that its diameter amounts to approximately a third of the diameter of the objective lens.

If the compensation [device] is positioned on the far side of the focal point, these relationships are reversed. The rays emerging from an edge point of the objective lens will now,

extending beyond the focal point, encounter the compensation [device] in such a way that the blue rays have the greatest level of incidence and the red ones have the least. We have lost in part the advantage with respect to the reduction of the secondary spectrum. This advantage is completely recovered again, however, as a result of the fact that in the focus of the objective lens there is arranged a convex lens or a prism with a convex cathetus face, on the hypotenuse face of which the light is totally reflected, in order to be able to bring it up to the eye subsequently in a convenient manner. This arrangement is illustrated in Fig. 8. If we give the prism a focal length f such that the compensation [device] and the objective lens are at conjugate points, *i.e.*:

$$\frac{1}{AB} + \frac{1}{BC} = \frac{1}{f}$$

then all the heterochromatic rays emerging from one point of the objective lens will meet the prism at different points, but will be combined again at the compensation device with a high degree of approximation at one point and will thus pass through the compensation [device] at the same level of incidence. The disadvantage with respect to the secondary spectrum is therefore eliminated. If the same type of glass is now used for the objective lens and the compensation [device], then the secondary spectrum will become absolutely equal to zero.

If we now reduce the focal length of the prism, the path of the rays will be arranged in the manner illustrated diagrammatically in Fig. 7. The blue rays are designated b here, and the red ones are designated r . As a result of this shortening of the focal length of the prism, the heterochromatic rays emerging from one edge point of the objective lens will intersect between the prism and the compensation [device]. The blue ray now encounters the compensation [device] closer to the axis than the red one, and we can now use flint glass for the compensation [device] just as in the case of Fig. 5, without producing a secondary spectrum. In this case we have a means, by shortening the focal length of the prism, of increasing this difference in the levels of incidence as desired and thus of reducing or eliminating the secondary spectrum or even turning it into a negative at will.

There are various arrangements which – by means of a mirror bored through and set up in the middle between the focal point of the objective lens and the compensation [device], a simple convex lens, a plane mirror with a convex lens, a prism totally reflecting in a double manner, a coated prism, set up in the vicinity of the focal point of the objective lens – vary the above arrangement of the convex prism totally reflecting in a single manner, but a system of positive focal length must always be present close to the focal point of the objective lens if the remainder of the secondary spectrum is now to be eliminated. The arrangement as shown in Fig. 6 for eyepiece observations, however, is perhaps to be preferred over any other form.

The eyepiece is arranged immediately adjacent to the prism. The oblique setting of the

mirror resulting from this causes small defects in the image which are eliminated by a minimal inclination of the objective lens. The said oblique setting continuously decreases with the size of the instrument. The symmetrical path of the rays in the compensation [device] has the consequence that its diameter can be made very small without the resulting deviations becoming excessively large.

An objective lens of conventional crown glass, which meets the sine condition, *i.e.* which virtually produces the minimal spherical aberration, is completely corrected with respect to colour and aberration by a compensation [device], the diameter of which amounts to between an eighth and a twelfth of the diameter of the objective lens, depending on whether very light or conventional silicate flint is used for the two lenses positioned in front of the mirror face. In this case the arrangement is envisaged in such a way, as illustrated in Fig. 7, that the mirror coating is applied to the rear side of the second flint glass lens.

The entire compensation device is thus shrunk to a certain extent to form an image-reversing eyepiece.

An attendant phenomenon appears at first sight to preclude the use of the present novel correction device, namely the mirror images which reach the eye from the glass faces of the concave lenses. What happens, however, is that in the case of the system as shown in Fig. 6 the said mirror images can be made to disappear completely, and that in the case of the system as shown in Fig. 5 they adversely affect the focus image to only an insignificant extent.

The present correction device can also be used in the case of microscopes. The microscope system is then given the arrangement which is illustrated diagrammatically in Fig. 8. The object is situated at *O*. After the rays have passed the objective lens *A* which is not corrected with respect to colour, they arrive at the prism *B* and then at the compensation [device] *C*. In the case of microscope systems the possibility exists of making the compensation [device] larger in diameter than the aperture of the objective lens without adversely affecting the accuracy of the image, *i.e.* of making the distance *B-C* larger than the distance *A-B*.

1 sheet of drawings attached

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.